

УДК 629.5

МЕТОД РОЗРАХУНКУ ПОВНОГО ОПОРУ СУДНА З АУТРИГЕРАМИ: ФОРМУВАННЯ ЦИФРОВОГО ДВІЙНИКА НА БАЗІ ПЛАТФОРМИ SHIPBUILDING 4.0

Морозов К. А.*провідний фахівець «Проектний офіс НУК»**Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна
kostiantyn.morozov@nuos.edu.ua***Слободян С. О.***кандидат технічних наук, професор, проректор по науково-педагогічній діяльності**Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна
sergij.slobodyan@nuos.edu.ua*

Анотація. При створенні життєвого циклу цифрового двійника судна має бути враховано всі процеси його формування та насичення, що здійснюються у рамках цифрового наукового центру суднобудування та цифрового конструкторського бюро. Результати формування та насичення цифрового двійника є основою для здійснення наступних процесів на цифровому виробництві та при цифровій експлуатації.

З перспективних напрямків подальшого розвитку суднобудівної галузі слід зазначити формування технологічної платформи Shipbuilding 4.0, у рамках якої реалізується цифрове суднобудування.

Тому однією зі складових платформи Shipbuilding 4.0, має бути метод визначення повного опору судна, і який дасть змогу на стадії раннього проектування вже вирішити питання потужності силової установки.

Ключові слова: Shipbuilding 4.0; цифровий двійник судна; розрахунок повного опору; головний корпус судна з аутигерами; систематична серія 65 та 62; метод найменших квадратів.

В наш час одним з трендів подальшого розвитку суднобудівної галузі слід вважати формування технологічної платформи Shipbuilding 4.0, у рамках якої реалізується цифрове суднобудування.

Життєвий цикл створення цифрового двійника судна передбачає процеси його формування та насичення, що здійснюються у рамках цифрового наукового центру суднобудування та цифрового конструкторського бюро. Результати формування та насичення цифрового двійника є основою для здійснення наступних процесів на цифровому виробництві та при цифровій експлуатації [1, с. 17-29].

Серед актуальних завдань формування та насичення цифрового двійника високошвидкісного пасажирського судна з аутигерами (САР) слід вважати завдання знаходження повного опору, що зумовить потрібну потужність силової установки судна.

Істотною частиною повного опір САР є хвильовий опір, який становить найбільшу частину залишкового опору.

Для визначення хвильового опору судна на даний час використовують два методи: метод форм-фактора та метод вимірювання хвильового профілю.

Серед сучасних методів розрахунку хвильового опору можна назвати метод обчислювальної гідродинаміки Computational Fluid Dynamics (CFD). Тим часом, у CFD методики є свої недоліки, пов'язані з великими тимчасовими витратами на обчислювальні процеси, а також великим розбіжністю результатів розрахунків повного опору для ВШС при порівнянні з випробуваннями в дослідницьких басейнах. У зв'язку з цим виникає потреба у

розробці методу для вирішення практичного завдання визначення повного опору пасажирського судна з аутригерами.

Суть запропонованої методики у тому, що поетапно, використовуючи наявні дані модельних випробувань систематичних серій 62 і 65, вирішити завдання визначення повного опору САР.

Варто відзначити, що зниження повного опору та забезпечення високої швидкості судна також залежить від вибору обводів, форми головного корпусу та аутригерів. Для досягнення необхідних показників авторами цієї статті було використано дані модельних випробувань систематичної серії 65 та 62.

Моделі цієї серії мають середню кілеватість, а форма носової частини дозволяє здійснювати легке хвильове обтікання, скула служить для ефективного поділу потоку і має мінімальну опуклу кривизну, щоб уникнути розвитку негативного нижнього тиску.

Моделі 4668, 4669, 5248, 5250 серії 62 та 65-А мають вузький транець. Така конструктивна особливість має практичне значення у дуже довгих та вузьких корпусах, таких як центральний корпус САР.

У моделей 5238 та 5208 серії 65-В транець широкий. Корпуси цієї серії, розділені по діаметральній площині і співвіднесені до головного корпусу, мають конструктивну особливість для аутригерів. [2, с.117-132].

Діапазон обмежень моделей 4668, 4669, 5248, 5250 систематичної серії 65-А, 65-В та серії 62 для розрахунку повного опору задається у вигляді [3, с. 9–26]:

$$\begin{aligned} 1.0 < F_n < 4.5; \\ 5.5 < A_p/V^{2/3} < 8.5; \\ 30.0 < 100 \cdot LCG/L_p < 52.0; \\ 6.73 < L_p/B_{pa} < 9.36; \\ 27.9^\circ < \beta < 30.4^\circ, \end{aligned}$$

де F_n – число Фруда; A_p – Запланована площа нижньої частини корпусу; V – обсяг витісненої води; LCG – поздовжній центр тяжіння; L_p – розрахункова довжина скули від транця до носового профілю; B_{pa} – середня ширина по скуле; β – кут кілеватости [3, с. 9–26].

Завданням подальшої математичної обробки даних результатів випробувань систематичної серії 65-А, 65-В та серії 62 для знаходження повного опору судна з аутригерами є визначення числових значень, що входять до формули параметрів.

Для знаходження повного опору судна з аутригерами в першу чергу визначаються всі складові коефіцієнта повного опору, а потім визначається форм-фактор методом Хьюза-Прохазки за формулами ІТТС'57 та ІТТС'78 (International Towing Tank Conference) [4, с. 65–66].

Визначення площі змоченої поверхні:

$$\frac{S_s}{S_m} = \left(\frac{L_s}{L_m} \right) \quad (1)$$

$$S_s = S_m \left(\frac{L_s}{L_m} \right)^2, \quad (2)$$

де S_m – площа змоченої поверхні моделі; S_s – площа змоченої поверхні судна; L_m – довжина моделі; L_s – довжина судна.

Формули визначення числа Рейнольдса $R_{n,m}$ моделі та $R_{n,s}$ судна мають вигляд:

$$R_{n,m} = \frac{V_m \cdot L_m}{\nu_m} \quad (3)$$

$$R_{n,s} = \frac{V_s \cdot L_s}{\nu_s} \quad (4)$$

де V_m , V_s – швидкість моделі та судна відповідно; ν_m , ν_s – кінематична в'язкість середовища моделі та судна.

Формулі для визначення коефіцієнта в'язкого опору $C_{F,m}$ моделі та $C_{F,s}$ судна мають вигляд:

$$C_{F,m} = \frac{0,075}{(\log_{10} R_{n,m} - 2)^2} \quad (5)$$

$$C_{F,s} = \frac{0,075}{(\log_{10} R_{n,s} - 2)^2} \quad (6)$$

де $C_{F,m}$ та $C_{F,s}$ – коефіцієнти в'язкісного опору моделі та судна відповідно.

Формула для визначення повного опору моделі подається у вигляді: $R_{T,m} =$

$$C_{T,m} \frac{1}{2} \rho_m V_m^2 S_m, \quad (7)$$

де $C_{T,m}$ – коефіцієнт повного опору моделі; ρ_m – щільність рідкого середовища.

У свою чергу, залежність для визначення коефіцієнта повного опору моделі $C_{T,m}$ має наступний вигляд:

$$C_{T,m} = C_{F,m} + C_{R,m} + C_A, \quad (8)$$

де $C_{R,m}$ – коефіцієнт залишкового опору моделі, C_A – коефіцієнт шорсткості поверхні корпусу (поправка на шорсткість) [4, с. 65–66].

Для знаходження коефіцієнта залишкового опору моделі у роботі [3, с. 9–26] запропоновано наступне регресійне рівняння:

$$R = f(F_{n,d}, A_p / V^{2/3}),$$

де $R = C_R$ – коефіцієнт залишкового опору моделі; $A_p / V^{2/3}$ – коефіцієнт завантаження.

Знаходження коефіцієнтів регресії здійснюється методом найменших квадратів (МНК).

Сутність МНК полягає у побудові наближеної або апроксимуючої функції (лінія тренду), що проходить через усі точки вихідних даних і найближче до заданої безперервної функції.

Лінія тренду може бути використана для опису величин, що поперемінно зростають і спадають. Наприклад, під час аналізу великого набору даних. І тут ступінь полінома визначається кількістю екстремумів кривої. Зазвичай поліном другого ступеня має тільки один екстремум, поліном третього ступеня один або два екстремуми, а поліном четвертого ступеня може мати до трьох екстремумів.

Поліноміальна (або криволінійна) лінія тренду використовує наступне рівняння:

$$y = b + k_1 x + k_2 x^2 + k_3 x^3 + \dots + k_n x^n. \quad (9)$$

Варто зазначити, що критерієм порівняння корпусів моделей було обрано співвідношення R/Δ , яке дає більш чітке уявлення про зв'язок між залишковим опором та водотоннажністю. [2, с. 117–132]

На етапі знаходження коефіцієнта залишкового опору моделі йде побудова лінії тренду, що апроксимує експериментальні дані моделі.

Наступним етапом методики йде визначення повного опору судна з аутригерами. У своїй роботі [5, с. 9–26] Prasanta K Sahoo використовуючи роботи Molland [6, с. 6] вдосконалив формули визначення коефіцієнта повного опору по ІТТС'57 і ІТТС'78, для багатокорпусного судна.

Наступним етапом йде визначення форм-фактору за методом Хьюза-Прохазки рисунок. 1 [4, с. 65–66].

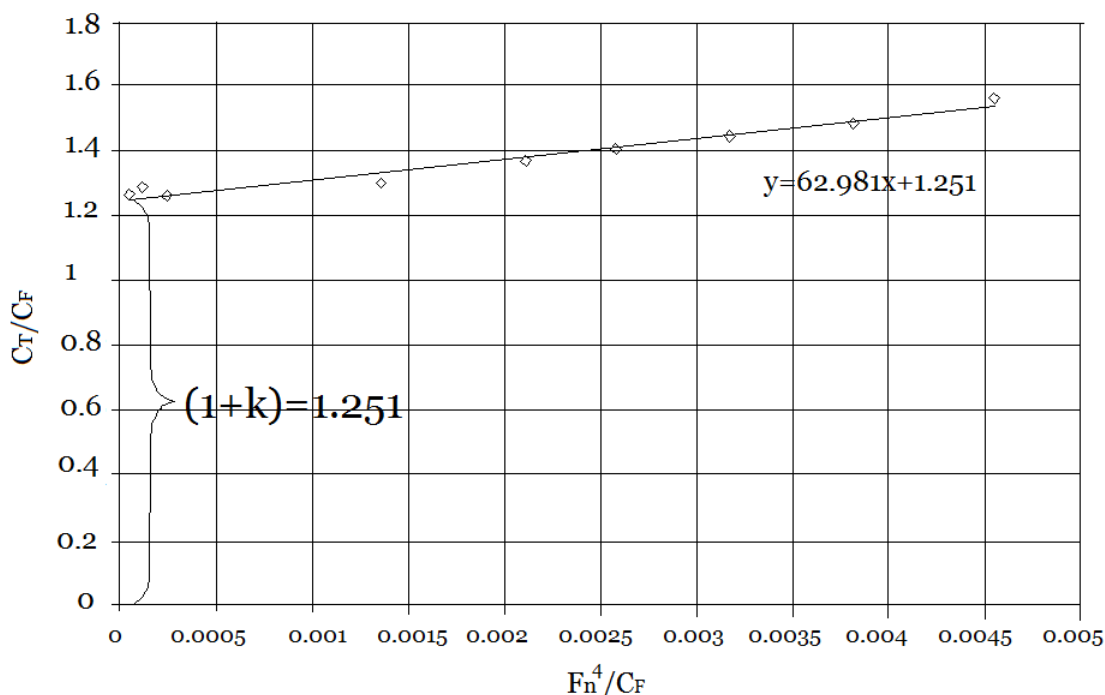


Рисунок 1. Визначення форм фактора методом Х'юза-Прохазки

Також слід враховувати той факт, що важливим компонентом у зниженні повного опору у САР є розташування його аутригерів.

У своїй роботі [7, с.349–373] Аккерс провів дослідження впливу хвильової інтерференції на опір САР шляхом розподілу водотоннажності між головним корпусом та аутригерами, варіюючи в діапазоні чисел Фруда від 0.3 до 0.65.

Висновки 1. Формування цифрового двійника високошвидкісного пасажирського судна з аутригерами показало, що найбільш оптимальним на стадії раннього проектування для зниження хвильового опору слід використовувати гострі обводи головного корпусу та аутригерів.

2. Використання науково-технічних напрацювань та випробувань, проведених у різний час для визначення повного опору багатокорпусних суден, дозволяють на цій основі розробляти нові практичні методики для покращення та полегшення процесу проектування багатокорпусних пасажирських суден.

ЛІТЕРАТУРА

- [1] Слободян С.О., Харитонов Ю. М., Нормативно-правове забезпечення та програм впровадження технологічної платформи Shipbuilding 4.0. *SHIPBUILDING & MARINE INFRASTRUCTURE*, № 2(14), 2020
- [2] Hadler J. B., *Resistance Characteristics of a Systematic Series of Planing Hull Forms - Series 65: Presented to the Chesapeake Section, the Society of Naval Architects and Marine Engineers. Society of Naval Architects and Marine Engineers*, 2008
- [3] Radojicic D., Zgradic, A., Kalajdzic, M., Simic. *Resistance Prediction for Hard Chine Hulls in the Pre-Planing Regime. POLISH MARITIME RESEARCH* 2(82), Vol. 21, 2014
- [4] Prohaska C. W., *A simple method for evaluation of form factor and the low speed wave resistance, Proc. 11th ITTC*, 1974
- [5] Sahoo P.K., Mynard T., Mikkelsen J., McGreer Simic, *Numerical and Experimental Study of Wave Resistance for Trimaran Hull Forms. 6th International Conference on High Performance Marine Vehicles*, Vol. 21, 2014

[6] Molland A. F., Turnock, S. R. and Hudson, D. A. *Ship Resistance and Propulsion: Practical Estimation of Ship Propulsive Power*. Cambridge University Press, 2011 New York.

[7] Ackers B. B., Michael, T. J., Tredennick, O. W., Landen, H. C., Miller lii, E. R., Sodowsky, J. P. and Hadler, J. B. *An Investigation of the Resistance Characteristics of Powered Trimaran Side Hull Configurations*. SNAME Transaction, Vol. 105, 1997

A Method For Calculating The Total Resistance Of A Vessel With Outriggers: The Formation Of A Digital Twin On The Shipbuilding 4.0 Platform Based

Kostyantyn O. Morozov, leading specialist " NUOS Project Office "

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

Sergey O. Slobodyan, candidate of technical sciences, professor, Vice-Rector for Scientific and Pedagogical Activities

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

УДК 629.533

ОСОБЛИВОСТІ ВИЗНАЧЕННЯ ТИПУ ПАСАЖИРСЬКОГО СУДНА ПРИБЕРЕЖНОГО РАЙОНУ ПЛАВАННЯ

Морозов О.О.

викладач

кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій та інженерної графіки

oleksii.morozov@nuos.edu.ua

Слободян С. О.

канд. техн. наук, професор, проректор з науково-педагогічної роботи slo71nuos@gmail.com

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

м. Миколаїв Україна

Анотація. На основі узагальнених емпіричних та теоретичних даних отриманих при проектуванні та експлуатації різних типів пасажирських суден було визначено, що необхідно прагнути к збільшенню відношення L/B , зменшенню осадки d , та відносній швидкості $Fr_l > 0,6$. Також було визначено, що судно з аутригерами, за аналогією з вітрильними тримаранами, є оптимальними для типом судна при русі у водотоннажному та перехідному режимах, які до того ж мають можливість висаджувати пасажирів на необладнане узбережжя, є оптимальним АКТ типом для пасажирського судна прибережного плавання, для маршруту «Очаків-Кінбурнська Коса».

Ключові слова: архітектурно-конструктивний тип, Очаків-Кінбурнська Коса, пасажирське судно прибережного плавання, однокорпусне судно, катамаран, вітрильний тримаран, судно з аутригерами.

ВСТУПНА ЧАСТИНА

Структура прибережного пасажирського водного транспорту, що сформувалася у другій половині двадцятого століття, не відповідає сучасним вимогам і не може повною мірою забезпечити жителів і туристів послугами транспортно - екскурсійного характеру [1, с. 276-277]. Тому необхідним є розвиток водних приміських та міських маршрутних перевезень, та відповідних пасажирських суден для яких кількість пасажирів, що перевозяться, варіюється від 12 до 38 пасажирів, як і у автобусах які використовуються для приміських та міських перевезень, відповідно і маршрут перевезень може бути визначений заздалегідь або індивідуально в кожному конкретному випадку.

Метою досліджень є визначення архітектурно-конструктивного типу (АКТ) пасажирського судна прибережного плавання, для маршруту «Очаків-Кінбурнська Коса».